

# BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

## COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 13 OCT. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut  
national de la propriété industrielle  
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ  
PRÉSENTÉ OU TRANSMIS  
CONFORMÉMENT À LA  
RÈGLE 17.1.a) OU b).

BEST AVAILABLE COPY

INSTITUT  
NATIONAL DE  
LA PROPRIÉTÉ  
INDUSTRIELLE

SIEGE  
26 bis, rue de Saint Petersburg  
75800 PARIS cedex 08  
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04  
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23  
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

# BREVET D'INVENTION CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI



N° 11354\*01

## REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire



DB 540 W / 190600

<b>REMISE DES PIÈCES</b> DATE <b>14 OCT 2002</b> LIEU <b>54 INPI NANCY</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0212706</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI <b>14 OCT. 2002</b>		<b>1</b> NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE  <b>ROVE Conseils</b> 47, Rue de Paris - B.P. 50229 F - 57106 THIONVILLE CEDEX Tél. 03 82 53 42 42 - Fax 03 82 53 79 13 E-mail : rove@wanadoo.fr	
<b>Vos références pour ce dossier (facultatif)</b> <b>RT 21040</b>			
<b>Confirmation d'un dépôt par télécopie</b> <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
<b>2</b> NATURE DE LA DEMANDE Demande de brevet Demande de certificat d'utilité Demande divisionnaire <i>Demande de brevet initiale</i> <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i> Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i>		<b>Cochez l'une des 4 cases suivantes</b> <input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> N° _____ Date ____/____/____ N° _____ Date ____/____/____ N° _____ Date ____/____/____	
<b>3</b> TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) <b>PROCEDE POUR LA MASTRISE DES MOUVEMENTS DU METAL DANS UNE LINGOTIERE DE COULER CONTINUE DE BRAMES.</b>			
<b>4</b> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
<b>5</b> DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale  Prénoms Forme juridique N° SIREN Code APE-NAF  Adresse Rue Code postal et ville  Pays Nationalité N° de téléphone (facultatif) N° de télécopie (facultatif) Adresse électronique (facultatif)		<b>ROTELEC</b> / <b>Société Anonyme</b> <b>309 456 333 000 41</b> <b>295-A France</b> <b>Tours Mercuriales</b> <b>40, rue Jean Jaurès</b> <b>93170 BAGNOLET</b> <b>France</b> <b>Fr</b>	

**ROVE Conseils**

47, Rue de Paris - B.P. 50229  
F - 57106 THIONVILLE CEDEX  
Tél. 03 82 53 42 42 - Fax 03 82 53 79 13  
E-mail : rove@wanadoo.fr

DB 540 W / 190500

REMISE DES PIÈCES DATE <b>14 OCT 2002</b> LIEU <b>54 INPI NANCY</b> N° D'ENREGISTREMENT <b>0212706</b> NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI		Réservé à l'INPI	
<b>Vos références pour ce dossier :</b> <i>(facultatif)</i>			
<b>6 MANDATAIRE</b> Nom Prénom Cabinet ou Société  N° de pouvoir permanent et/ou de lien contractuel  Adresse   Rue   Code postal et ville N° de téléphone <i>(facultatif)</i> N° de télécopie <i>(facultatif)</i> Adresse électronique <i>(facultatif)</i>		<b>VENTAVOLI</b> <b>Roger</b> <b>Cabinet ROVE CONSEILS</b>  <b>47, rue de Paris - BP 50229</b> <b>57106   THIONVILLE cedex</b> <b>03 82 53 42 42</b> <b>03 82 53 79 13</b>	
<b>7 INVENTEUR (S)</b> Les inventeurs sont les demandeurs		<input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée	
<b>8 RAPPORT DE RECHERCHE</b> Établissement immédiat ou établissement différé		<input checked="" type="checkbox"/> Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation) <input type="checkbox"/>	
Paiement échelonné de la redevance		Paiement en deux versements, uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Oui <input checked="" type="checkbox"/> Non	
<b>9 RÉDUCTION DU TAUX DES REDEVANCES</b>		Uniquement pour les personnes physiques <input type="checkbox"/> Requête pour la première fois pour cette invention <i>(joindre un avis de non-imposition)</i> <input type="checkbox"/> Requête antérieurement à ce dépôt <i>(joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):</i>	
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite», indiquez le nombre de pages jointes		/	
<b>10 SIGNATURE DU DEMANDEUR</b> <b>ou DU MANDATAIRE</b> (Nom et qualité du signataire)   <b>Roger VENTAVOLI</b>		<b>ROVE Conseils</b> 47, Rue de Paris - B.P. 50229 F - 57106 THIONVILLE CEDEX Tél. 03 82 53 42 42 - Fax 03 82 53 79 13 E-mail : rove@wanadoo.fr	
		<b>VISA DE LA PRÉFECTURE</b> <b>OU DE L'INPI</b>  	

## PROCEDE POUR LA MAITRISE DES MOUVEMENTS DU METAL DANS UNE LINGOTIERE DE COULEE CONTINUE DE BRAMES.

5 L'invention à trait à la coulée continue des métaux, de l'acier en particulier, sous forme de brames, ou de tout autre produit plat allongé analogue.

Elle concerne plus précisément l'amélioration de la qualité des produits coulés par une maîtrise de la configuration des mouvements de convection du métal coulé au sein de la lingotière.

10 Il est définitivement admis de nos jours, sans toutefois être déjà capable de décrire le lien de causalité, que la manière dont s'organisent les mouvements de convection du métal en fusion en lingotière est un facteur déterminant sur la qualité des produits obtenus, tant pour ce qui concerne la formation d'une première peau de solidification bien homogène et régulière sur le pourtour de la lingotière, qu'à l'égard de  
15 la propreté superficielle et sous cutanée (incrustations de laitier, piqûres, boursouflures, ou niveau de propreté inclusionnaire interne).

On sait de même l'importance que prend à cet égard le développement, dès leur entrée dans l'espace de coulée, des flux de métal liquide arrivant en lingotière par les ouïes de sortie latérales de la busette immergée qui alimente le système en métal à couler.

20 On citera à cet égard, parmi d'autres, l'article de P.H. Dauby, M.B. Assar et G.D. Lawson "*voyage dans une lingotière de coulée continue. Mesures laser et électromagnétiques de l'hydrodynamique de l'acier*" paru dans la Revue de Métallurgie, avril 2001; Vol. 4, p. 353-356, et la publication faite par D. Gotthelf, P. Andrzejewski, B. Julius et H. Haubrich "*Mold flow monitoring-a tool to improve caster operation*" à la 3<sup>ème</sup>  
25 Conférence Européenne sur la Coulée Continue à Madrid (Esp.) en 1998, p. 825-833.

Comme le soulignent avec justesse ces documents, il y a globalement trois types d'écoulement d'acier liquide au niveau de la lingotière: la configuration "simple boucle" et la configuration "double boucle" qui sont des modes stables, et un écoulement de type aléatoire, instable, propre aux régimes transitoires dans l'opération de coulée.

30 Ce dernier peut se décrire schématiquement comme une alternance erratique de modes "simple boucle" et "double boucle" provenant de dissymétries momentanées et incontrôlables des écoulements entre les deux demi-espaces de coulée de part et d'autre de la busette dues notamment à des perturbations, même minimales en énergie, au niveau des ouïes de sorties de la busette, comme par exemple des variations différentielles dans  
35 le débit d'argon anti-bouchage entre les deux ouïes.

Par contre, les deux modes d'écoulement stables précités sont eux plus explicites. Ils sont illustrés sur les figures 1A et 1B jointes à la fin de ce mémoire. Ces figures montrent l'allure stabilisée des trajectoires des courants principaux dans un plan vertical passant par l'axe de coulée et parallèle aux deux grandes faces d'une lingotière de  
40 coulée continue de brames. Le mode "simple boucle" (fig. 1A) se traduit essentiellement,

comme on le voit, par le fait que les jets de métal 1 se dirigent dès leur sortie des ouïes 2 de la busette 3 plutôt vers le haut en direction de la surface libre (ou ménisque) 4 du métal coulé en lingotière. A ce niveau, ils parcourent la largeur du demi-espace de coulée dans lequel chacun se développe en longeant les grandes faces de la lingotière jusqu'à atteindre les petites faces d'extrémité 5. On rappelle au besoin que ces petites faces, dites également "faces de fermeture" sont montées au droit à l'extrémité des grandes faces afin d'assurer la continuité de la périphérie intérieure de la lingotière et donc l'étanchéité de l'espace de coulée. Parvenus à la petite face, chaque jet 1 est alors globalement réfléchi vers le bas dans le sens de l'extraction du produit coulé représenté par la flèche verticale épaisse au milieu de la figure. Bien entendu, la cartographie précise des vitesses est bien plus complexe. Beaucoup des lignes de courant, telles que 6, empruntent des trajectoires plus typiquement parabolique en raison du mouvement d'ensemble d'extraction vers le bas, mais schématiquement c'est bien cette forme générale en source jaillissante vers le haut qui frappe le regard quand on observe le mode "simple boucle" dans un simulateur ou sur maquette.

En revanche, selon le mode "double boucle" (fig. 1B), chaque jet 1, arrivant en lingotière par la busette 3, sort des ouïes 2 à l'horizontale dans son ensemble et se propage ainsi vers les petites faces 5 où tout se passe comme si l'impact partageait le jet en deux courants, un courant principal 8 réfléchi vers le bas et un courant secondaire 7 réfléchi vers le haut en direction du ménisque 4, et à ce niveau parcourir alors le demi-espace de coulée dans le sens contraire cette fois, de la petite face 5 vers la busette 3. La aussi, la cartographie réelle est bien plus complexe, mais c'est bien cette image globale en "ailes de papillon" qui marque l'observateur face à l'écran d'un modélisateur ou devant une maquette fonctionnant en mode "double boucle".

Le progrès des connaissances et le cumul de l'expérience permettent aujourd'hui de savoir assez bien quand et comment, en fonction des paramètres de coulée pertinents, s'établissent de manière stable ou quasi-stable l'un ou l'autre des deux modes d'écoulement prémentionnés. Sans entrer dans les détails, ce qui serait d'ailleurs inutile et surabondant pour la compréhension de l'invention, on peut dire simplement que plus on coule des brames de grande largeur, de même, plus on coule à vitesse d'extraction élevée, plus on se situe dans le domaine de la configuration "simple boucle", et inversement pour ce qui concerne la configuration "double boucle".

Il faut dire que l'exploitant de la machine de coulée continue n'a en général pas à disposition les moyens de connaître le mode d'écoulement stable du métal au sein de sa lingotière. D'ailleurs, le plus souvent, il faut reconnaître qu'il ne s'en soucie guère, puisque de toute façon, il ne saurait ni ne pourrait intervenir sur le format coulé ou sur la vitesse d'extraction, lesquels sont imposés par le carnet de commande et le flux matière au sein de l'usine.

Il se trouve pourtant que les récents travaux du demandeur ont confirmé, sinon démontré l'existence de liens de causalité explicites entre les défauts des produits

issus de la coulée d'un côté (versus la disparition de ces défauts) et de l'autre la configuration des mouvements de convection du métal liquide en lingotière. Ainsi, il se trouve que non seulement les écoulements de type instable seraient à l'origine des défauts de qualité observés, ce dont on pouvait se douter, mais également la configuration stable en mode "simple boucle".

Aussi, la présente invention a t'elle pour but d'offrir à l'exploitant de la coulée continue de brames un outil simple et performant, rajouté à sa machine sans avoir à reconsidérer dans sa conception, pour lui permettre d'être assurément en mode "double boucle" sans modifier en rien le réglage des paramètres de la coulée.

Avec cet objectif en vue, l'invention a pour objet un procédé pour la maîtrise de la configuration des mouvements du métal liquide coulé dans une lingotière de coulée continue de brames métalliques ou autre produit plat analogue, notamment en acier, à l'aide d'une busette immergée dotée d'ouies de sorties latérales tournées en regard des petites faces de la lingotière, ladite configuration pouvant être en mode "simple boucle" ou "double boucle" ou "instable", procédé caractérisé en ce que l'on met en œuvre des champs magnétiques glissants agissant, en lingotière à la hauteur de la busette, sur les flux de métal liquide arrivant en lingotière par les ouies de la busette, lesdits champs étant produits par des inducteurs électromagnétiques linéaires polyphasés disposés en regard d'au moins une face de la lingotière de part et d'autre de la busette de manière à installer ou stabiliser une configuration en mode "double boucle".

Conformément à une variante préférée de réalisation, on met en œuvre des champs magnétiques glissants horizontalement vers l'extérieur, dans le sens allant de la busette vers chaque petite face, au moyen d'inducteurs disposés en regard d'au moins une grande face de la lingotière de part et d'autre de la busette.

Selon une mise en œuvre, on fait agir les champs magnétiques glissants pendant toute l'opération de coulée.

Selon une autre mise en œuvre, on fait agir les champs magnétiques glissants uniquement si la configuration des mouvements n'est pas naturellement déjà en mode "double boucle".

Complémentairement, si la configuration est déjà naturellement en mode "double boucle", on fait agir des champs magnétiques glissants horizontalement au moyen d'inducteurs disposés en regard d'au moins une grande face de la lingotière de part et d'autre de la busette conformément à la variante de réalisation préférée explicitée ci-avant, mais on règle lesdits inducteurs afin que les champs produits par chacun d'eux glissent tous dans le même sens de manière à imprimer au métal liquide dans la lingotière un mouvement d'ensemble de rotation autour de l'axe de coulée.

L'invention a également pour objet une installation pour la mise en œuvre du procédé selon ladite variante de réalisation préférée comprenant au moins une paire d'inducteurs électromagnétiques linéaires à champ magnétique glissant, montés en regard d'au moins une grande face de la lingotière et orientés de manière à produire un champ

magnétique glissant horizontalement, et une alimentation électrique polyphasée commandée connectée audits inducteurs pour leur faire produire chacun un champ magnétique glissant dans un sens allant de la busette vers une petite face de la lingotière.

Comme on l'aura sans doute déjà compris, l'invention fait un usage d'un moyen bien connu et, si l'on peut dire, disponible de longue date dans le commerce, le champ magnétique mobile produit par un inducteur linéaire statique polyphasé, pour agir dynamiquement sur le métal liquide au sein de la lingotière afin d'instaurer un mode "double boucle", ou de le stabiliser s'il est déjà naturellement présent.

Les premières applications de la magnétohydrodynamique (ou MHD) à la coulée continue des métaux datent maintenant de près de trente ans et leur succès ne s'est jamais démenti jusqu'ici. Au contraire, des progrès continus jalonnent son histoire. Les premières descriptions concernaient les étages de la machine de coulée sous la lingotière, en particulier la zone de refroidissement secondaire en raison de l'absence d'effet d'écran magnétique qu'opposerait sinon les parois en cuivre de la lingotière. Mais, bien vite, sont apparues des alimentations en courant électrique polyphasées à thyristors qui ont permis de travailler avec des fréquences de courant excitateur basses, disons inférieures à 10hz, de sorte que, compte tenu des puissances disponibles, l'effet d'écran résiduel que pouvaient encore opposer les parois de cuivre ne représentait plus un obstacle à l'application de la MHD au sein de la lingotière elle-même.

Des applications en lingotière multiples et variées lui sont ainsi confiées qui vont, disons, de la simple mise en mouvement du métal, en rotation autour de l'axe de coulée par exemple, à son accélération ou son freinage dans la direction des mouvements qu'il a déjà naturellement ou aux changements imposés de direction. De très nombreux documents publiés (ouvrages, articles, brevets) lui ont été dédié. On citera simplement ici, pour simple référence historique, le brevet français n° 2.187.465 (IRSID) datant de 1972 et décrivant déjà un brassage remontant le long des parois par action sur le métal d'un champ magnétique glissant verticalement. On visait ainsi à favoriser une structure de solidification de type équiaxe dès la lingotière, ainsi que l'amélioration de la propreté sous-cutanée via un lavage du front de solidification par les courants ascendants de métal liquide emportant avec eux les bulles de gaz formées in situ et les inclusions non métalliques jusqu'au ménisque où elles sont fixées par le laitier de couverture qui surnage.

On citera également, plus près de nous, et parce que l'application concernée est peu éloignée de celle de l'invention, voire complémentaire, la Demande de Brevet Européen publiée sous le n° 0.550.785 (NKK corp.). Ce document propose en effet, l'utilisation de champs magnétiques glissants vers l'intérieur, c'est à dire des petites faces vers la busette, pour freiner les jets de métal liquide sortant des ouïes afin de modérer la vigueur des mouvements en double boucle lorsque les vitesses mesurées au ménisque sont estimées trop élevées.

De même, la Demande de Brevet Européen publiée sous le n° 0.151.648 (NKK Corp. également) décrit, elle, les choix possibles entre un brassage vertical du

métal en lingotière à l'aide de champs magnétiques glissants verticalement de bas en haut pour améliorer la propreté de surface du produit coulé, et un brassage horizontal à l'aide de champs mobiles horizontalement pour améliorer alors la propreté inclusionnaire sous-cutanée par un effet de lavage du front de solidification. Dans ce cas, il est conseillé d'ailleurs de régler les différents inducteurs entre eux de manière que les champs glissants, que chacun produit individuellement indépendamment des autres, génèrent un effet d'ensemble qui soit de préférence un mouvement de convection rotatif du métal autour de l'axe de la lingotière. Il y est également suggéré que des champs glissants horizontalement vers l'intérieur, en sens opposé des jets issus de la busette, donc des petites faces vers la busette, seraient favorables à l'obtention d'une propreté inclusionnaire située en profondeur sous la peau solidifiée. En revanche, des champs glissants horizontalement vers l'extérieur seraient eux favorables, tout comme l'étaient déjà les champs glissants remontant du brevet français de 1972 prémentionné, à un lavage du front de solidification afin de le débarrasser, à l'endroit de l'action du champ, des inclusions non métalliques ainsi que des bulles de CO gazeux formées par la solidification du métal.

On aura d'ailleurs noté que ce mode opératoire de mise en oeuvre de champs magnétiques glissants horizontalement vers l'extérieur et agissant au niveau en hauteur des ouïes de la busette sur les jets de métal entrant s'inscrit à l'instar d'une variante préférée de ce que l'invention propose de faire systématiquement durant toute la coulée, mais, dans ce cas, pour imposer un mode de circulation stable en "double boucle" des mouvements de convection du métal en fusion au sein de la lingotière.

L'invention sera de toute façon bien comprise et d'autres aspects et avantages apparaîtront plus clairement au vu de la discussion qui suit donnée, à titre d'exemple, en référence aux planches de dessins annexées sur lesquelles:

- les figures 1A et 1B montrent, on le rappelle, vu de face et en élévation dans un plan médian vertical axial passant par les ouïes de sortie latérale d'une busette immergée et parallèle aux grandes faces de la lingotière, la forme générale des trajectoires des courants de convection du métal liquide au sein de la lingotière, respectivement dans le cas d'un mode "simple boucle" (1A) et dans le cas d'un mode "double boucle" (1B);
- la figure 2 est un graphique statistique établi à partir d'une compilation de données réelles et permettant de déterminer en fonction des paramètres de coulée que sont la vitesse de coulée en abscisses et la largeur de la brame coulée en ordonnées, les domaines de fonctionnement naturellement stable en "simple boucle" -domaine S- et en "double boucle"-domaine D-. Les triangles sont des événements de type "simple boucle"; les losanges sont des événements de type "double boucle". Pour des raisons de clarté, les données correspondantes à des événements naturellement instables, basculant aléatoirement d'un mode S à D ou de D à S n'ont pas été portés.

- la figure 3 est une vue schématique générale de ce qu'est une lingotière de coulée continue de brames équipées des moyens de l'invention;
- la figure 4 est une vue similaire à celle de la figure 3 mais montrant un peu plus en détails la technologie des inducteurs linéaires à champ glissants utilisables;
- 5 - la figure 5 est un schéma de principe, montrant vu de dessus de la lingotière le mode d'action des inducteurs à champ glissant mis en œuvre selon l'invention;
- la figure 6 montrent, venant d'une simulation informatique par modèle de calcul, trois couples de schémas A, B, C, disposés les uns au-dessus des autres, et représentant chacun les caractéristiques des mouvements de convection au sein d'une lingotière à brames avec différentes valeurs de l'intensité des champs magnétiques glissants
- 10 appliqués conformément à l'invention.

Sur les figures, les mêmes éléments sont désignés sous des références numériques identiques.

15 Les figures 1A et 1B ont déjà servi à illustrer les définitions données dans la partie introductive du présent mémoire de ce qu'il faut entendre sous les vocables de "simple boucle" et "double boucle" dans le contexte de l'invention.

Sur la figure 2, à laquelle on se réfère maintenant, les domaines S et D, correspondants respectivement aux deux types de recirculation naturelle stables "Simple boucle" et "Double boucle", sont séparés par une ligne double P en traits discontinus

20 légèrement oblique par rapport à la verticale. Cette ligne de séparation P permet de se rendre compte aisément que le mode de recirculation naturel en "double boucle", domaine D, est plutôt réservé aux vitesses de coulée élevées, disons supérieure à 1,4 m/min, et ce quelle que soit la largeur de la bande coulée, alors qu'en dessous de 1,2 m/min environ, on se situe quasiment systématiquement dans le domaine S du "simple boucle".

25 Entre les deux, il suffit d'une faible modification du format des produits coulés, en l'occurrence d' $1/10^{\text{ème}}$  environ, pour passer d'un mode à l'autre. De même, pour les largeurs coulées classiques, allant disons de 1200 à 2100 mm, on peut facilement basculer d'un mode "double boucle" à un mode "simple boucle" simplement sous l'influence d'un changement relativement minime de la vitesse de coulée dans la plage

30 habituelle de 1.2 à 1.4 m/min. En tous cas, on voit qu'à la vitesse habituelle de 1.3 m/min, le pivot sur la largeur du produit est 1500 mm. En dessous, on reste en "double boucle", au-dessus, on passe rapidement en "simple boucle". La ligne pointillée d'allure générale hyperbolique R représente, elle, une coulée de référence avec un débit métal constant de 4,6 tonnes/min, (produit entre la section coulée et la vitesse de coulée si l'on admet que le

35 niveau en hauteur du ménisque oscille peu autour d'une valeur fixe au cours de la coulée).

On notera que la ligne de séparation P se translate vers la gauche, élargissant le domaine du "double boucle" quand la profondeur d'immersion de la busette augmente ou, si l'on utilise un bullage à l'argon pour éviter les risques de bouchage de la busette

(coulés de bas ou très bas carbone calmes à l'aluminium par exemple), quand le débit d'argon baisse.

On aura compris, qu'en somme, la mise en œuvre de l'invention consiste en fait à faire disparaître la ligne P en la translatant vers la gauche jusqu'à son éviction du diagramme.

A cette fin, les moyens de mise en œuvre de l'invention sont ceux illustrés sur la figure 3 d'abord. Sur cette figure, on voit une lingotière 18 pour la coulée de brames en acier 9 constituée pour l'essentiel de deux paires de plaques de cuivre, ou d'alliage de cuivre, vigoureusement refroidies par circulation d'eau de refroidissement: une paire de grandes plaques en regard l'une de l'autre à une distance définissant l'épaisseur de la brame: ce sont les grandes faces; et une paire de petites plaques, montées de façon étanche au droit à l'extrémité des grandes plaques afin d'assurer la continuité du pourtour intérieur de la lingotière qui définit l'espace de coulée. Ces plaques de fermeture latérale de l'espace de coulée sont les petites faces. Elles sont, en règle générale, montées mobiles en translation et leur position entre les grandes plaques plus ou moins avancée vers le centre est alors un moyen de réglage de la largeur de la brame coulée.

La lingotière est alimentée en métal frais par une busette immergée 3 centrée sur l'axe de coulée A et dont l'extrémité haute est reliée de façon étanche à l'ouverture ménagée dans le fond d'un répartiteur non représenté. Comme déjà vu sur les figures 1A et 1B, l'extrémité inférieure libre de la busette est pourvue d'ouïes de sortie latérales, diamétralement opposées, et plonge dans la lingotière à une profondeur ajustée (une quarantaine de centimètres environ en dessous du bord supérieur des plaques de cuivre, avec une orientation angulaire réglée pour que chaque ouïe soit tournée en regard d'une petite face 5 de la lingotière.

Les moyens pour la mise en œuvre de l'invention sont bien visibles en position de travail sur la figure 3. Ils sont constitués par une unité électromagnétique 10 reliée à une alimentation électrique polyphasée 11, de préférence triphasée.

L'alimentation de puissance 11 est à thyristors afin de pouvoir faire varier la fréquence du courant en agissant sur la molette 12 en façade. Un autre bouton molette 13 permet lui de régler l'intensité du courant.

L'unité électromagnétique est formée de quatre inducteurs linéaires, de préférence identique, de type stator plan de moteur asynchrone. Pour ce qui suit, on se référera conjointement aux figures 3, 4 et 5 afin d'avoir une approche plus complète des moyens mis en œuvre pour la réalisation de l'invention. Ces inducteurs sont regroupés par paires, une paire d'inducteurs 14,14' (et 15,15') par grande face de la lingotière. Les deux inducteurs d'une même paire, par exemple la paire 14,14', sont montés sur la même grande face, mais de part et d'autre de la busette 3 en position relative de préférence symétrique. Ces deux inducteurs 14,14' peuvent être indépendants l'un de l'autre mécaniquement et électriquement. Ils sont cependant reliés à l'alimentation 11 qui commande leur fonctionnement magnétique de manière coordonnée afin que chacun

produise un champ magnétique glissant horizontalement vers l'extérieur de la lingotière, c'est à dire dans un sens allant de la busette 3 vers les petites faces d'extrémité 5. Les maximums de chaque champ n'ont pas non plus besoin d'être à chaque instant situés le long de l'inducteur à égale distance de la busette. Il importe seulement que les enroulements électriques constitutifs de chaque inducteur, que celui-ci soit du type "à pôles magnétiques saillants" donc bobinés, ou du type "à pôles répartis", soient eux-mêmes polyphasés et compatibles sur ce plan avec l'alimentation 11 de manière à pouvoir être chacun relié aux bornes de cette alimentation dans un ordre de phases séquentiel adéquat assurant le glissement du champ dans le sens "vers l'extérieur" souhaité.

On rappelle au besoin que si le glissement du champ magnétique est parallèle à la face à laquelle l'inducteur est appliqué, le champ lui-même, généré par cet inducteur, est globalement perpendiculaire au plan de cette face. En tous cas, on sait que c'est la composante perpendiculaire à cette face qui est la seule active dans la production d'énergie utile sous forme d'une force d'entraînement du métal dans le sens du glissement du champ. On a donc avantage, afin de maximiser le rendement énergétique de l'opération, de disposer d'inducteurs dont les lignes de force des champs produits sont orthogonales au plan des faces et quelles se propagent ainsi le plus loin possible à l'intérieur du métal à couler.

C'est la raison pour laquelle d'ailleurs, en règle générale, on rajoute une seconde paire d'inducteurs, telle que 15,15' en regard sur l'autre grande face de la lingotière. L'alimentation 11 alimente alors ces inducteurs ajoutés en opposition de phase par rapport aux inducteurs 14, 14' en regard pris dans cet ordre, de sorte que les champs produits par deux inducteurs en regard l'un de l'autre sur les deux faces opposées de la lingotière, en l'occurrence 14 et 15, ou 14' et 15', sont dans le même sens et donc s'additionnent pour, en tout point de l'espace de l'entrefer ainsi formé, constituer un champ magnétique traversant le produit coulé de part en part, et dont on sait l'avantage par rapport à un champ longitudinal puisque l'intensité au centre du produit est à peine plus faible qu'au voisinage des inducteurs.

Quoiqu'il en soit, le schéma de la figure 5 montre clairement que conformément à l'invention, lorsqu'on met en œuvre les champs magnétiques glissants pour instaurer un mode "double boucle", ou pour le stabiliser quand il s'y trouve déjà naturellement, le sens de glissement est le même pour tous les inducteurs agissant dans un même demi-espace de coulée (gauche ou droit), et dans chaque demi-espace le sens de glissement va vers l'extérieur de la lingotière, c'est à dire de la busette 3 vers les petites faces d'extrémité 5.

La figure 4 permet d'offrir en vue un peu plus détaillée d'une réalisation technologique des inducteurs. Ils sont montés, comme on le voit, dans la chambre à eau de refroidissement supérieure 16 de la lingotière (dessinée en traits fins) afin de bénéficier de l'effet de refroidissement, mais aussi pour pouvoir rapprocher les faces

actives polaires 17 au plus près du métal coulé. On voit également que chaque inducteur porte des nervures apparentes 19, 19', 20, destinées à assurer les fixations et alignements nécessaires entre eux et à régler leur position en hauteur par prise dans des rainures de support correspondantes dans le châssis porteur de la machine de coulée (non représenté). On notera la forme biseautée des faces actives 17, afin d'être moins exposées lors des manutentions, mais également afin de concentrer un peu plus les lignes de force du champ magnétique produit sur une distance en hauteur plus réduite.

La mise en œuvre d'un tel équipement électromagnétique permet la maîtrise des mouvements de convection du métal au sein de la lingotière conformément à l'invention, et la figure 6 à laquelle on se reporte maintenant illustre bien le profit tiré de cette maîtrise.

Chaque schéma A, B, ou C présente, dans sa fenêtre de gauche, les trajectoires des lignes de courant de convection du métal choisi arbitrairement dans le demi-espace droit de coulée d'une lingotière à brames, contenu en abscisses L entre l'axe de coulée A et la petite face d'extrémité 5, et se développant sur la hauteur h de la lingotière depuis le ménisque 4 (ordonnée 0) jusqu'à une profondeur de 70 cm. Le graphe associé à droite donne en ordonnées les valeurs correspondantes de la vitesse "s" du métal au niveau du ménisque 4 sur la ligne de mesure médiane qui relie l'ouïe de sortie 2 de la busette à la petite face d'extrémité opposée 5 placée en abscisses. Cette vitesse est comptée algébriquement, avec un signe positif quand le sens des courants va de la busette vers la petite face et donc négativement dans le sens contraire.

Toute chose égale par ailleurs, chaque couple est représentatif d'une valeur différente de l'intensité du champ magnétique agissant. Le couple A est associé à un champ nul ( $i = 0$  A), donc illustre la situation avant la mise en œuvre de l'invention. Le couple B est associé à une valeur d'intensité de champ magnétique moyenne, correspondant à un courant excitateur des enroulements inductifs d'intensité efficace  $i$  de 250 A. Le couple C illustre la situation quand le champ magnétique appliqué est produit sous une intensité de courant  $i$  de 450 A.

Comme on le voit sur A, à l'état naturel, dans l'exemple considéré, la configuration est du type "simple boucle". Le jet, qui sort de l'ouïe 2, suit une trajectoire principale 1 tracée en traits foncés qui est à peu de chose près celle que l'on retrouve sur la figure 1A. On ne le décrira donc pas à nouveau ici. On notera cependant la présence au voisinage immédiat de la busette d'un petit rouleau 21 tournant à contresens. Ce phénomène local naît du fait que le courant principal 1 remonte certes vers le ménisque après la sortie du jet de métal hors de l'ouïe 2, mais cette remontée n'est, bien entendu, ni immédiate ni parfaitement verticale, de sorte qu'il se crée inévitablement des recirculations locales à contresens dans les zones hydrauliquement "mortes" contre la busette. On le voit d'ailleurs clairement sur le diagramme associé des vitesses au ménisque où l'inversion des vitesses s'opère en un point M à la cote d'abscisse 0.5 m de l'axe de coulée correspondant à l'extrémité du rouleau 21. A gauche de ce point

d'inversion M, le métal circule au ménisque dans le sens "petite face vers busette", alors qu'il circule de la busette vers la petite face à droite du point M, avec une intensité d'ailleurs sensiblement plus élevée en moyenne. Cette courbe de vitesse est reproduite sur les deux autres diagrammes afin de servir de comparaison.

5           Lorsqu'on active les inducteurs sous un courant d'excitation de 250 Ampères efficaces sur les 500 disponibles qu'offrait l'équipement considéré, le schéma B montre que rien ne se passe de significativement différent par rapport à la situation précédente. On notera cependant, sur le diagramme des vitesses un léger fléchissement du pic de  
10 vitesse positive (région du ménisque à la droite du point d'inversion M), donc un léger déplacement de ce point M vers la petite face 5, ce qui exprime en fait une amorce en faveur de l'instauration du mode de circulation "double boucle" recherché.

Ce mode "double boucle" est en effet pleinement obtenu avec une intensité du courant excitateur des inducteurs de 450 A eff., comme le montre le schéma C. En effet, le point d'inversion a cette fois complètement disparu pour laisser place à un profil  
15 de valeurs négatives tout du long du ménisque. On voit sur la fenêtre de gauche que ceci se traduit, outre la transformation de la ligne de courant principal 1 remontante en une ligne 8 continûment descendante, par l'apparition d'une boucle de recirculation supérieure 7 qui amène une fraction du jet de métal frais coulé, remontant le long de la petite face, de celle-ci jusqu'à la busette 3 et qui, à peu de chose près, peut se calquer sur  
20 la configuration en "double boucle" que l'on retrouve sur la figure 1B.

On voit donc sur cet exemple comment la mise en œuvre de l'invention permet d'instaurer très simplement un mode de circulation "double boucle" au métal coulé dans une lingotière qui naturellement était le siège d'une circulation en mode  
"simple boucle".

25           Il en aurait été de même si la situation naturelle avait été un régime de type instable.

Si la situation d'origine avait été déjà en mode "double boucle", l'invention l'aurait stabilisé. Dans un tel cas, il n'est nullement à craindre que l'invention conduise à des mouvements de convection trop vigoureux au niveau du ménisque, dont on sait qu'ils  
30 sont alors préjudiciables à la qualité recherchée du produit coulé obtenu. En effet, le principe même du fonctionnement des inducteurs plans polyphasés à champ glissant est celui du moteur asynchrone: c'est le différentiel de vitesses entre le champ magnétique glissant et le courant de métal liquide, sur lequel il agit pour l'entraîner dans son déplacement, qui détermine précisément la force d'entraînement du métal. Tant que la  
35 vitesse de glissement du champ est supérieure à celle de la convection du métal, il y a effet d'entraînement du métal par le champ. Mais, cet effet d'entraînement est d'autant moins puissant que la vitesse de circulation du métal se rapproche de celle de déplacement du champ magnétique, et l'effet devient par principe nul si ces deux vitesses sont égales ou s'égalisent.

En somme, si le mode naturel de circulation du métal en fusion au sein de la lingotière est déjà en "double boucle", la mise en œuvre de l'invention aura l'avantage de le stabiliser, le régulariser, voire le modérer au besoin. Il suffit en effet pour cela d'intervenir sur le réglage de la fréquence du courant excitateur. Pour un pas polaire  
 5 donné de l'inducteur, la vitesse de glissement du champ magnétique mobile qu'il génère est en effet, comme on le sait, proportionnelle à la fréquence de pulsation du champ, donc du courant électrique qui le produit en parcourant les enroulements de l'inducteur. En conséquence, l'invention permettra au besoin de calmer automatiquement une boucle de recirculation au ménisque trop vigoureuse, en choisissant une fréquence du courant  
 10 excitateur telle que la vitesse de déplacement des champs soit inférieure à celle du courant de métal au ménisque.

Autrement-dit, on règle l'intensité du champ magnétique par le choix de l'intensité du courant excitateur; on règle sa vitesse de glissement via la fréquence de ce courant; et on règle le sens du glissement du champ par une connexion ad hoc des  
 15 enroulements de l'inducteur aux phases de l'alimentation électrique. Ceci n'est rien d'autre que ce que l'homme de métier, utilisant les moyens de la M.H.D. sur sa machine de coulée, sait déjà de manière habituelle et de longue date. On exprime là encore une fois la simplicité et la maturité de l'outil que met l'invention à la disposition de l'exploitant pour réaliser sa mise en œuvre industrielle.

Cela dit, il est tout à fait envisageable, dans le cadre de l'invention, de ne faire agir les champs magnétiques que si la configuration des mouvements de convection n'est pas déjà naturellement de type "double boucle". La figure 2 constitue à cet égard une précieuse aide graphique qui permettra aisément à l'opérateur de savoir d'emblée s'il se situe naturellement, ou s'il a de bonnes chances de se situer déjà, dans une  
 20 configuration simple ou double boucle.

De même, si la configuration est déjà naturellement en mode "double boucle" stable, on peut fort bien opter pour une variante particulière de mise en œuvre de l'invention qui consiste à mettre en œuvre, non plus les champs glissants pour la promotion d'un régime "double boucle", mais d'autres champs glissants qui eux se déplacent dans le même sens sur chaque face de la lingotière, mais dans des sens opposés  
 30 sur les deux faces en regard. Ainsi, on se trouvera dans un système de champs magnétiques mobiles dits longitudinaux et non plus traversants, dont l'effet d'ensemble sur le métal se traduira par un mouvement global de rotation du métal autour de l'axe de coulée. Pour ce faire, l'équipement électromagnétique reste exactement le même. Il suffit simplement de modifier en conséquence l'ordre de connexion des enroulements inductifs de chaque inducteur 14, 14', 15 et 15' aux bornes de l'alimentation polyphasée 11. Au  
 35 demeurant, cette variante de réalisation permettra également au besoin de calmer automatiquement une boucle de recirculation au ménisque trop vigoureuse, en choisissant là encore une fréquence du courant excitateur telle que la vitesse de déplacement des champs soit inférieure à celle du courant de métal au ménisque.  
 40

Il va de soi que l'invention ne saurait se limiter aux exemples explicités dans le présent mémoire, mais s'étend à de multiples variantes ou équivalents dans la mesure où est respectée sa définition donnée par les revendications jointe.

5 Par exemple, on peut promouvoir le mode "double boucle" avec des champs magnétiques glissants agissant, non plus sur la ou les grandes faces de la lingotière, mais sur les petites faces d'extrémité. L'inducteur à utiliser pour créer chaque champ agissant pourra être le même que précédemment. Mais, il devra être placé sur la petite face à un niveau en hauteur correspondant grosso modo à la plage qui sépare le ménisque de la projection horizontale sur la petite face de l'ouïe de la busette ouverte en regard, et sera  
10 orienté différemment afin de produire un champ glissant vertical. Par ailleurs, la connexion de ses enroulements aux phases sur l'alimentation électrique devra être faite pour assurer un déplacement du champ du bas vers le haut.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé pour la maîtrise de la configuration des mouvements du métal liquide coulé dans une lingotière de coulée continue de brames métalliques ou autres produits plats analogues, notamment en acier, à l'aide d'une busette immergée dotée d'ouies de sorties latérales tournées en regard des petites faces de la lingotière, ladite configuration pouvant être naturellement en mode "simple boucle" ou "double boucle", ou encore "instable", procédé caractérisé en ce que l'on met en œuvre des champs magnétiques glissants agissant sur les flux de métal liquide arrivant en lingotière (18) par les ouies (2) de la busette immergée (3), lesdits champs magnétiques étant produits par des inducteurs électromagnétiques linéaires (14, 14'; 15, 15') disposés en regard d'au moins une face de la lingotière de part et d'autre de la busette de manière à installer, ou stabiliser une configuration permanente en mode "double boucle".
2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on met en œuvre des champs magnétiques glissants horizontalement vers l'extérieur, dans le sens allant de la busette (3) vers chaque petite face (5), au moyen d'inducteurs (14, 14'; 15, 15') disposés en regard d'au moins une grande face de la lingotière de part et d'autre de la busette.
3. Procédé selon la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que l'on fait agir les champs magnétiques glissants pendant toute l'opération de coulée.
4. Procédé selon la revendication 1 ou 2 caractérisé en ce que l'on met en œuvre lesdits champs magnétiques glissants uniquement si la configuration des mouvements du métal coulé en lingotière n'est pas naturellement en mode "double boucle".
5. Procédé selon les revendications 2 et 4, caractérisé en ce que, si la configuration des mouvements est déjà naturellement en mode "double boucle", on fait agir des champs magnétiques glissants horizontalement au moyen desdits inducteurs (14, 14'; 15, 15') disposés en regard d'au moins une grande face de la lingotière de part et d'autre de la busette après avoir réglé lesdits inducteurs afin que les champs produits par chacun d'eux glissent tous dans le même sens de manière à imprimer au métal liquide dans la lingotière un mouvement d'ensemble de rotation autour de l'axe de coulée.
6. Equipement pour la mise en œuvre du procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comprend une unité électromagnétique (10) constituée par au moins une paire d'inducteurs linéaires (14, 14'; 15, 15') à champ magnétique glissant, montés en regard d'au moins une grande face de la lingotière et orientés de manière à produire un champ magnétique glissant horizontalement, et une alimentation électrique polyphasée commandée (11) connectée à chaque inducteur de ladite unité électromagnétique (10).

pour leur faire produire à chacun un champ magnétique glissant vers l'extérieur, dans un sens allant de la busette immergée (3) vers une petite face de la lingotière (5).

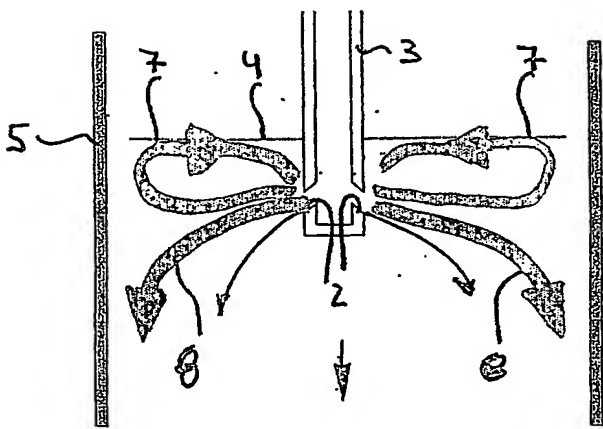


Fig. 1B

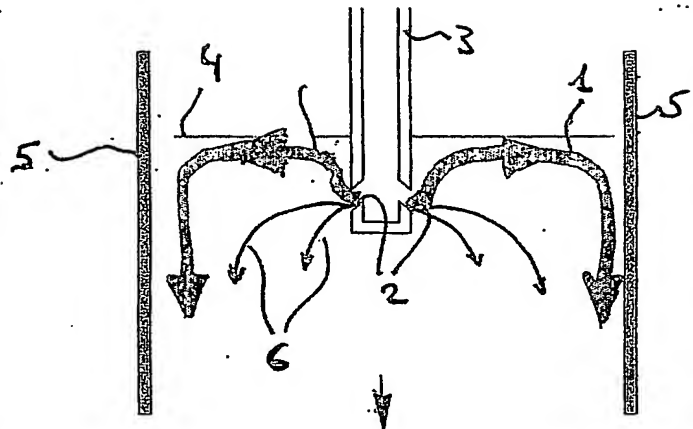


Fig. 1A

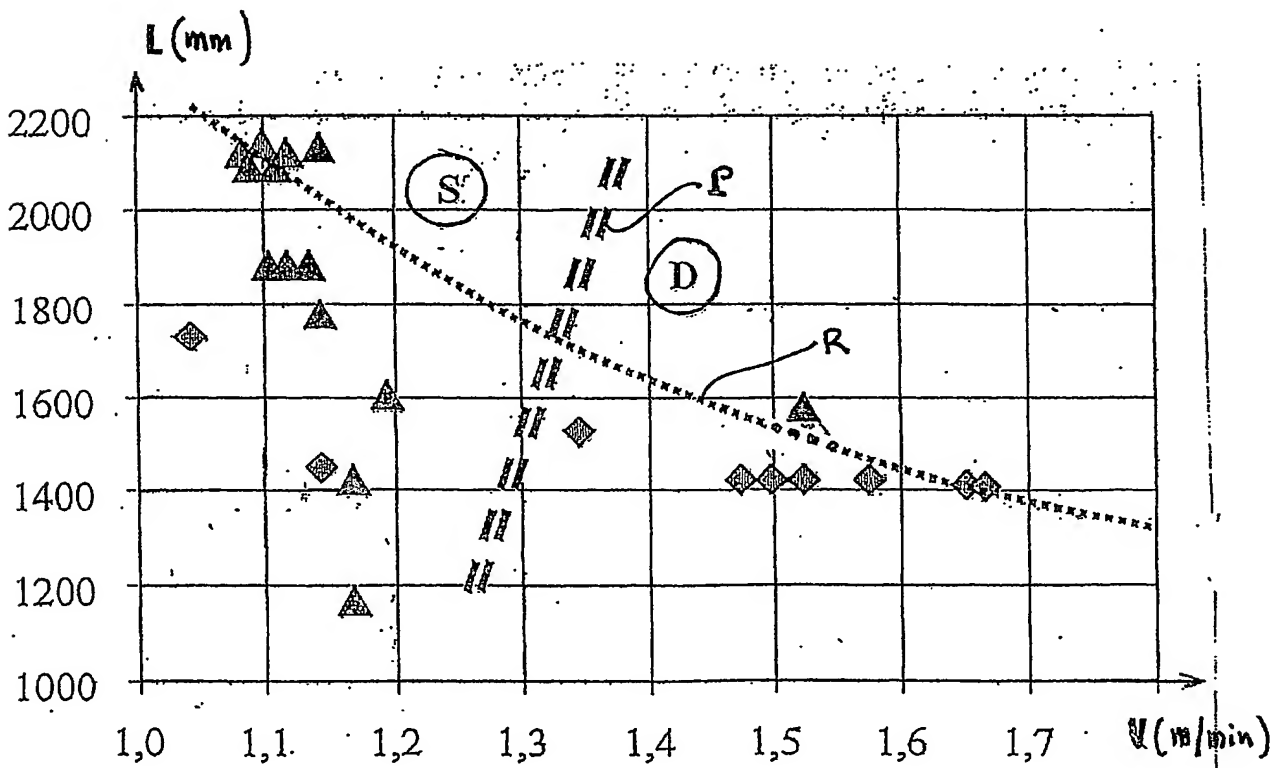


Fig. 2

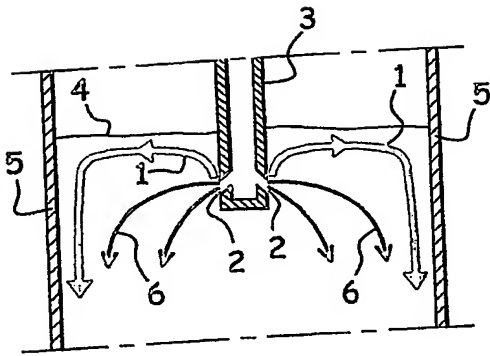


Fig. 1A

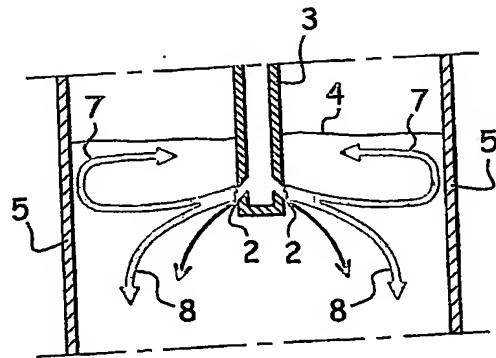


Fig. 1B

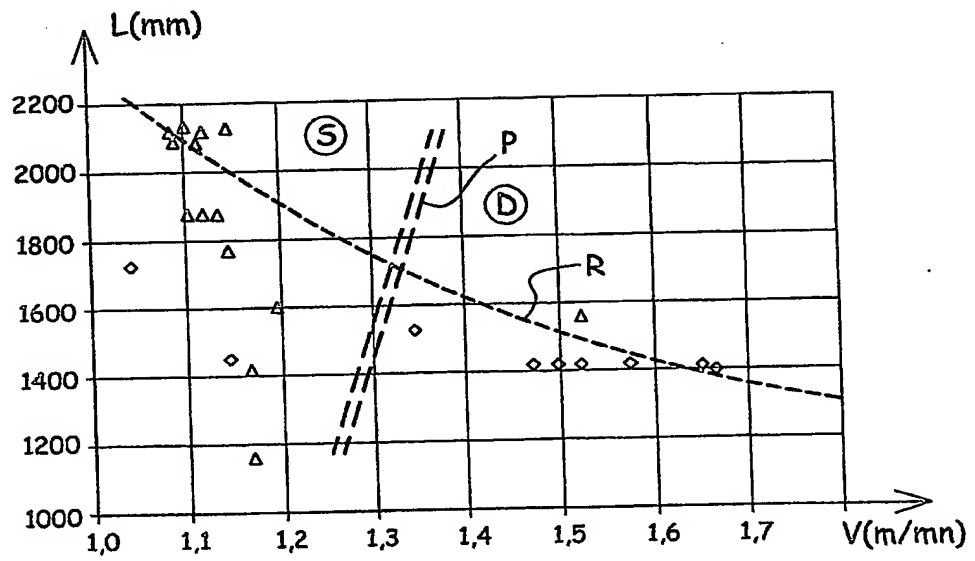


Fig. 2

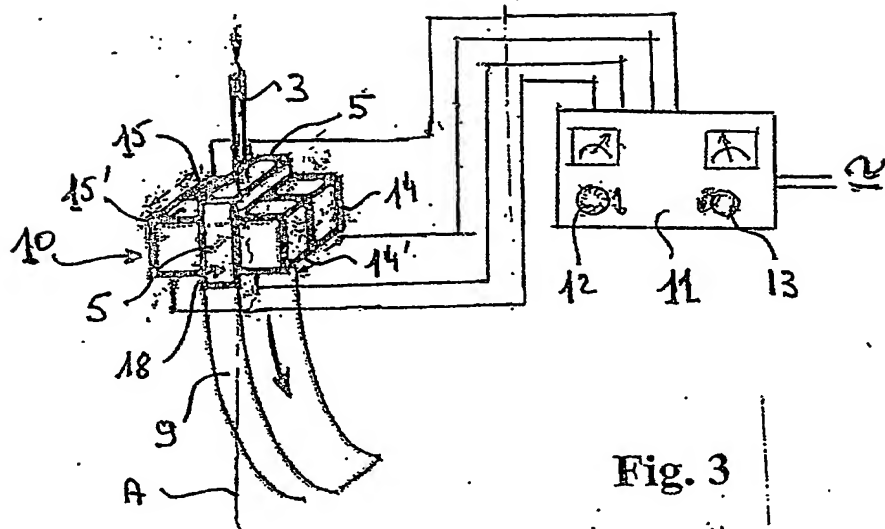


Fig. 3

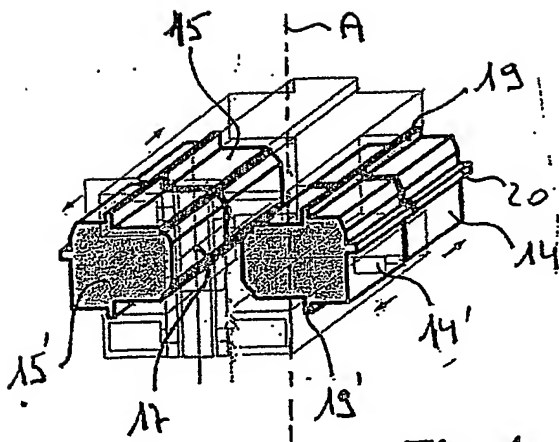


Fig. 4

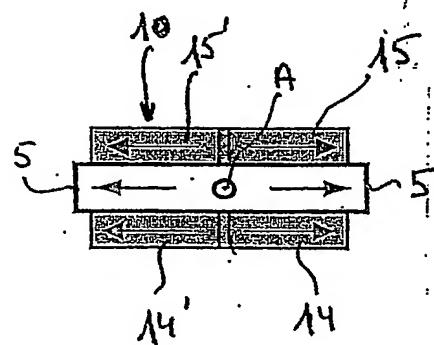


Fig. 5

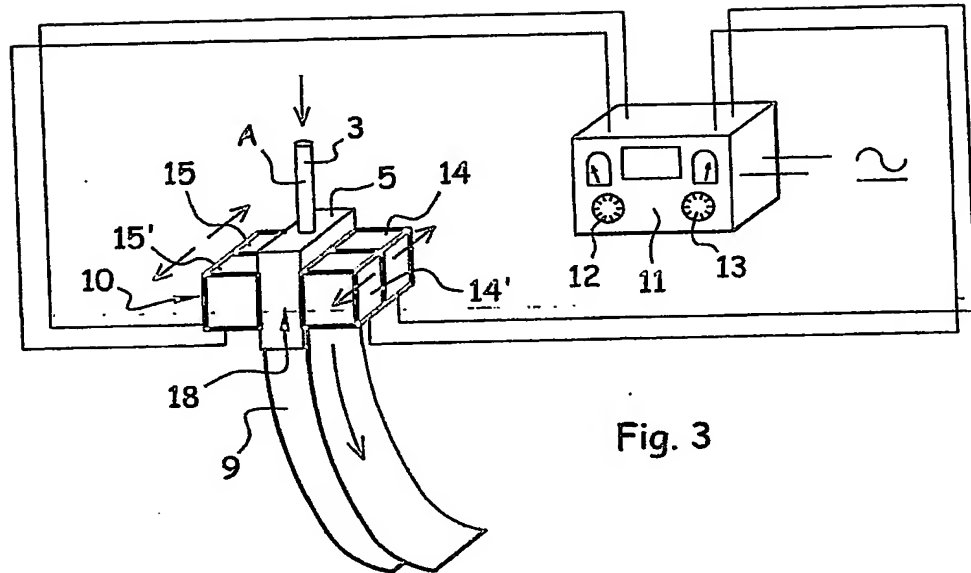


Fig. 3

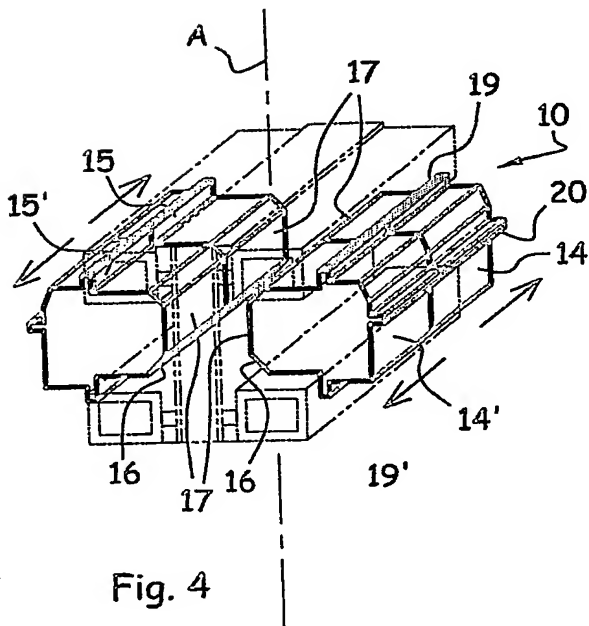


Fig. 4

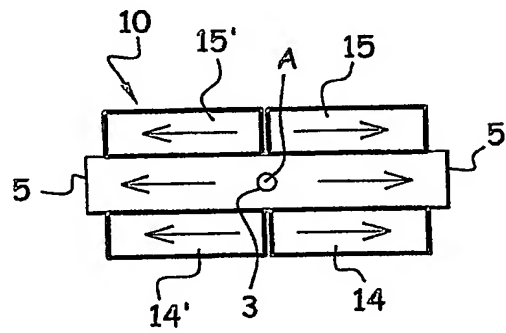


Fig. 5

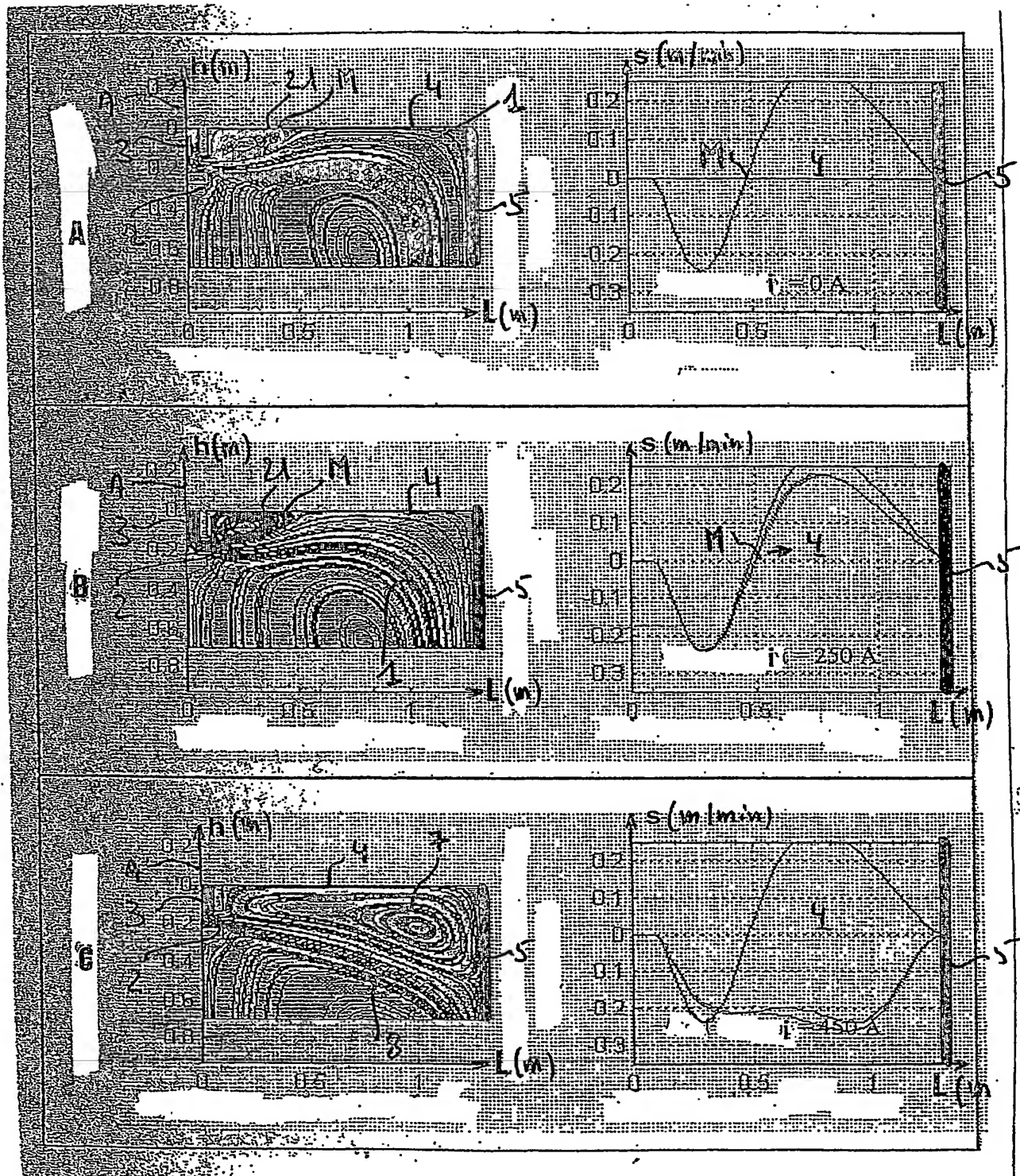


Fig. 6

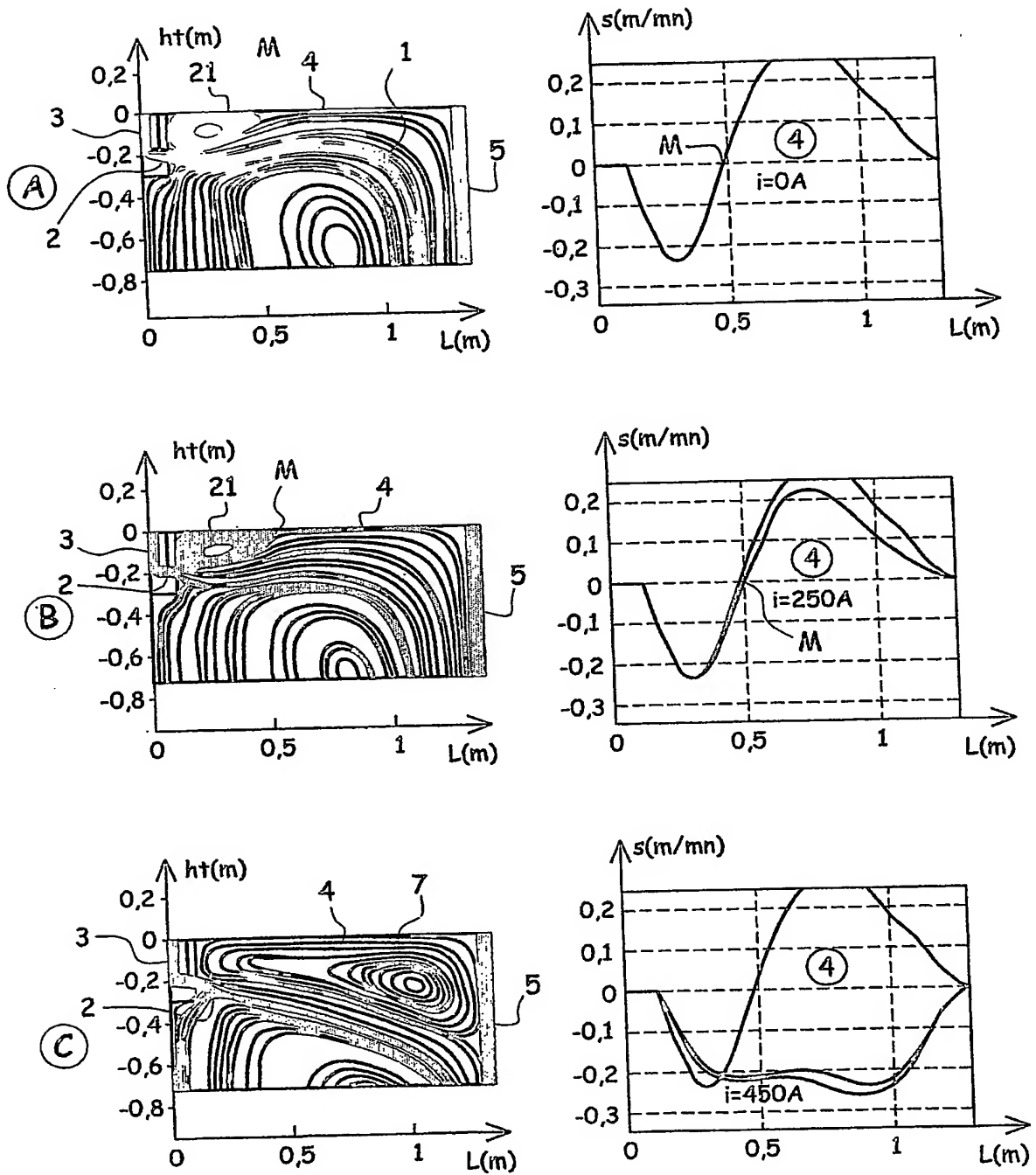


Fig. 6

DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg  
75300 Paris Cedex 08


Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1. / .1.

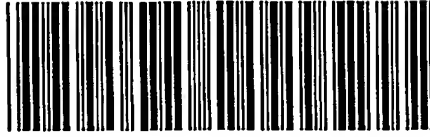
(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 260899

Vos références pour ce dossier (facultatif)		RT 21040	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0212706	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)			
PROCÉDE POUR LA MAÎTRISE DES MOUVEMENTS DU MÉTAL DANS UNE LINGOTIÈRE DE COULÉE CONTINUE DE BRAMES.			
LE(S) DEMANDEUR(S) :			
ROTELEC société anonyme			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1». S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		KUNSTREICH	
Prénoms		Siebo	
Adresse	Rue	27, rue Eugène Berthoud	
	Code postal et ville	93400	SAINT OUEEN
Société d'appartenance (facultatif)		ROTELEC	
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) DU (DES) DEMANDEUR(S) OU DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		 <b>ROVE Conseils</b> 47, Rue de Paris - B.P. 50229 F - 57106 THIONVILLE CEDEX Tél. 03 82 53 42 42 - Fax 03 82 53 79 13 E-mail : rove@wanadoo.fr	

CT Application  
**FR0302978**



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**